Journal of
Design Sciences and Applied Arts

الخواص والتقنيات الحديثة للرخام والجرانيت وأثرهما علي الرؤية الجمالية للتصميم.

تغريد عبد الحميد محمد [١]   عادل عدلي ابراهيم [٢]

١- باحثة بقسم التصميم الداخلي والأثاث، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان.
٢- أستاذ التصميم الداخلي بقسم التصميم الداخلي والأثاث، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان.

Submit Date:2020-05-15 20:36:22 | Revise Date: 2021-05-25 19:37:38 | Accept Date: 2021-05-27 06:08:33

DOI: 10.21608/jdsaa.2021.30345.1050

مستخلص البحث:-

الرخام هو أحد أهم الخامات المستخدمة في مجال التصميم الداخلي والأثاث؛ حيث يحمل الرخام كخامة طبيعية العديد من القيم الجمالية؛ التي قد تختلف من نوع إلي آخر تبعاً لتركيبة الكيميائي وخواصه. وتؤثر خواص الرخام وتقنيات تشكيله علي الرؤية الجمالية للشكل النهائي للمنتج. يعتبر الرخام من أنواع الصخور التي تنتشر في معظم القشرة الأرضية وخاصة المناطق الصحراوية، التي تتكون في الأساس نتيجة اندماج مجموعة من المعادن. وقد يتركب الصخر من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تؤثر في خصائصه. وتبعا لهذا التركيب تنشأ تنوعات مختلفة في الألوان والصلادة والشكل والتماسك. وقد تظهر بعض العيوب مثل وجود فجوات، أو وجود مسامات سطحية كبيرة، أو زيادة نسبة الرطوبة، أو وجود بقع لونية. أثَّر استخدام التقنيات المتقدمة في تصنيع الرخام علي إيجاد حلول للعديد من الصعوبات التي كانت تواجه المصمم الداخلي سواء في مرحلة التصميم أو التنفيذ. من خلال معالجة العيوب الموجودة بالخامة الطبيعية، والتغلب علي صعوبات تشكيل الخامة؛ مما أعطي المصمم حرية التصميم والإبداع وأثري الشكل الجمالي للمنتج النهائي. تتحدد أهمية البحث في أن صناعة الرخام تُعد أحد مصادر الدخل القومي؛ ويعتبر تطويرها أحد الأهداف الاستراتيجية للدولة. هناك العديد من الاتفاقيات الدولية لتطوير هذه الصناعة والتحول من تصدير الخامة إلي تصدير المنتج الرخامي. وهنا تكمن المشكلة البحثية في اقتصار عمليات تصنيع الرخام علي كونه خامة طبيعية يتم تصديرها دون تحويلها لمنتج صناعي متكامل الهيئة التصميمية. يهدف البحث إلي تحديد الخواص والتقنيات الحديثة للرخام وأثرهما علي الرؤية الجمالية للتصميم وذلك لتحول الفكر الصناعي من تصدير الخامة إلي تصدير المنتج لينعكس ايجابياً علي النمو الاقتصادي. ولتحقيق هذا الهدف ينتهج البحث المنهج الاستقرائي التحليلي – المنهج الوصفي . وتتم هذه الدراسة من خلال عدة محاور تضم:

- إيجابيات وسلبيات الرخام والجرانيت
- التقنيات الحديثة المستخدمة لعلاج السلبيات.
- التقنيات الحديثة المستخدمة في التشكيل الهندسي والتشكيل العضوي بإتباع (2D-3D) للرخام.
- التقنيات الحديثة المستخدمة في تركيبات الرخام في المستويات الرأسية.

الكلمات المفتاحية:-

الرخام Marble ، خواص الرخام Marble Properties ، تشكيل الرخام Marble Molding، ماكينات ليزر Laser Machines ، ووترجت Water-Jet machines ، معالجة الرخام Marble Treatments ، ماكينات التحكم الآلي Robot Machines, ، تقنيات تكسيات الرخام Marble Cladding.

المقدمة

يعتبر الرخام من أهم الخامات الطبيعية المستخدمة في العديد من المجالات خلال العصور المختلفة؛ وذلك نظراً لتمتعه كخامة طبيعية بقيمة جمالية عالية. يتكون الرخام في الأساس من صخور جيرية تحولت تحت تأثير الضغط أو الحرارة أو كلاهما. ويدخل معها في التركيب بعض المركبات الأخرى التي تختلف من مكان لأخر، مما يؤثر في لون وخواص الرخام تبعاً لتركيبه المعدني ونسب هذا التركيب. وقد تظهر بعض السلبيات مثل وجود فجوات أو شقوق سطحية، أو زيادة نسبة الرطوبة، أو وجود بقع لونية. تعد صناعة الرخام من مصادر الدخل القومي؛ ويعتبر تطويرها أحد الأهداف الاستراتيجية للدولة؛ فهناك العديد من الاتفاقيات الدولية لتطوير هذه الصناعة والتحول من تصدير الخامة إلي تصدير المنتج الرخامي. تُعرّف التقنيات المتقدمة علي أنها تطبيقات العلم في حياة الانسان، أو مجموعة المعارف والمهارات اللازمة لتصنيع منتج معين وإقامة الآلية الملائمة لإنتاجه. كما تعرف بأنها الوسائل التي صنعها الانسان طبقاً لطرق عملية واعتمادا علي معارفه وخبراته ومهاراته وسخرها لخدمته. وقد ساعد استخدام التقنيات المتقدمة علي زيادة القيمة الجمالية للرخام من خلال عدة تطبيقات ومنها:

- المعالجات المختلفة التي قد تمر بها الخامة فتحد من سلبياتها وتكسبها خواص أفضل.
- استخدام تقنيات حديثة في تشكيل الخامة.
- استخدام تقنيات حديثة في التكسيات الرأسية.

أهمية البحث Importance of the research:

تُعد صناعة الرخام أحد مصادر الدخل القومي؛ ويعتبر تطويرها أحد الأهداف الاستراتيجية للدولة.

مشكلة البحث Statement of the problem:

- اقتصار عمليات تصنيع الرخام علي كونه خامة طبيعية يتم تصديرها دون تحويلها لمنتج صناعي متكامل الهيئة التصميمية.

هدف البحث Objectives :

تحديد خواص وتقنيات تشكيل الرخــام وأثرهما علي الرؤية الجـمالية للتصميم وذلك لتحول الفكر الصناعي من تصدير الخامة إلي تصـــدير المنتج لينعكس ايجابياً علي النمو الاقتصادي.

فرضية البحث Research hypothesis:

يفترض أن استخدام التقنيات الحديثة في تشكيل وتصنيع الرخام الطبيعي تؤثر علي الرؤية الجمالية للتصميم؛ حيث تقدم منتجاً له خصائص متميزة، من خلال تفادي عيوب الخامة والوصول بها لأفضل النتائج.

منهجية البحث Methodology of the research:

المنهج الاستقرائي التحليلي – المنهج الوصفي .

وتتم هذه الدراسة من خلال عدة محاور تضم:

- خصائص بعض أنواع الرخام الشائع استخدامها في مجاليّ التصميم الداخلي والأثاث.
- العيوب الشائعة للرخام الطبيعي والتقنيات الحديثة المستخدمة لعلاجها.
- التقنيات الحديثة المستخدمة في التشكيل الهندسي والزخرفي للرخام.
- التقنيات الحديثة المستخدمة في تركيبات الرخام.

١-ايجابيات وسلبيات الرخام والجرانيت:

١-١- استخدام الرخام خلال العصور المختلفة:

يعتبر الرخام أحد أهم الخامات الطبيعية التي تحمل العديد من القيم الجمالية والتشكيلية؛ فكان مصدر إلهام للعديد من الفنانين والمصممين عبر العصور المختلفة. استخدم الرخام للتعبير عن الإبداع تأثراً بجمال ألوانه وتعاريجه، والخلود تأثراً بصلابته وقوته.



صورة(1): تمثال مصنوع من رخام الألباستر، يرجع إلي عهد الأسرة السادسة.
المصدر:- www.brooklynmuseum.org

صورة(2): فسيفساء رخامي يرجع إلي العصر المملوكي.
المصدر: www.alqubbahnews.com



صورة(3): تمثال لابيتا مصنوع من الرخام الأبيض يرجع إلي عصر النهضة. المصدر:- https://dariaturchuk.com/rome

صورة(4): استخدام الرخام في التصميم الداخلي. العصر الحديث.
المصدر: www.sukarart.com

1-2- التكوين الكيميائي للرخام والجرانيت:

1-2-1- تكوين الرخام The composition of marble :

يتركب الرخام في الأساس من صخور جيرية (كربونات كالسيوم نقية متبلرة أو دلوميت) تحولت تحت تأثير الضغط أو الحرارة أو كلاهما. ويدخل معها في التركيب كربونات الماغنسيوم، وأكاسيد الحديد والألومنيوم والعديد من المركبات التي تختلف من مكان لآخر، مما يؤثر في لون وشكل وتعريق الرخام تبعاً لتركيبه المعدني ونسب هذا التركيب [11]. ويدخل في التركيب مكون ثالث وهو الشوائب؛ التي تؤثر بشكل فعال

في لون الرخام؛ فإذا كانت منتشرة بشكل متجانس خلال كتلة الرخام أثر ذلك على لون الكتلة ككل. أما إذا وجدت على هيئة أجزاء فتكون بشكل عروق أو بقع. ومن هذه الشوائب: السيليكا Silica ، أكاسيد الحديد، اكسيد المنجنيز manganese oxide اللذان يعطيان اللون الأحمر أو البني المحمر، والأصفر يرجع إلى وجود الليمونيت [2].

2-2-1- تكوين الجرانيت The composition of granite:

يتألف الجرانيت من بلورات من الكوارتز والفلسبار مندمجة مع الميكا. والكوارتز هو عنصر ذو بريق خارجي شديد القوة لونه إما رمادي أو أنه بدون لون. الفلسبار فهو بللوري لامع يختلف تجزيعه فيكون بأشكال مختلفة وبأحجام مختلفة، وهو ذو ألوان مختلفة. أما الميكا فلونها رمادي داكن أو أسود أو بني، وهي مرنة جدا ونصف شفافة. ويختلف لون الجرانيت تبعاً لنسبة الفلسبار إلي الكوارتز والميكا. وتتوقف متانة الجرانيت علي كمية الكوارتز وطبيعة الفلسبار؛ فإذا احتوي الجرانيت علي كمية عالية من الكوارتز يكون ذو متانة عالية جدا وصعب التشغيل ولكن عندما يكون الفلسبار ليس ذو صفات رديئة تكون هناك متانة عالية إلي جانب سهولة التشغيل [15].

وتتفاوت أحجام البلورات في الجرانيت فقد تكون كبيرة فيكون الجرانيت خشن، أو تكون البلورات صغيرة الحجم فيكون ناعم ودقيق الحبيبات [7].

3-1- الخصائص العامة للرخام والجرانيت:

1-3-1- الخصائص العامة للرخام:

متوسط الصلادة من 3-4 درجة صلادة، الكثافة 2500: 2650 كجم/ م3، ومقاومة الألتواء من 1800 : 2100 كجم/ سم2 ، وهو مقاوم للتغيرات الجوية، على أن تكون نسبة وجود أكسيد الكالسيوم (38-42% CaO)، ونسبة السيليكا (20-25% Sio2)، نسبة الفاقد 30-32%، و يبلغ متوسط الوزن النوعي للرخام المتبلور حوالي 2,65 ونسبة امتصاص الماء 0,75% وجهد التشقق 560 كجم/ سم2 وجهد التفتت من 800 : 1200 كجم [14].

2-3-1 الخصائص العامة للجرانيت:

يمتاز الجرانيت بتجانس حبيباته واندماجها ببعضها مما يجعله قابلاً للصقل بدرجة كبيرة، كما يمتاز بالمتانة والمقاومة العالية للعوامل الجوية وذلك لشدة صلادته، كما يمتاز بالمقاومة العالية للأحماض

 رخام جلالة 203A Glala درجة أولي.	رخام جلاله 203B Glala كريمي.	 رخام جلاله 203C Glala درجة ثانية.
- يستخرج رخام الجلالة بصفة رئيسية في مصر من جبل الجلالة بالسويس، وهو من أهم أنواع الرخام التي تُصدر إلى السوق العالمي. - يوجد رخام الجلالة في عدة درجات ويتركب من عدة مركبات كيميائية تشترك مع بعضها من أهمها: أكسيد الكالسيوم بنسبة 55.5% وأكسيد الماغنسيوم بنسبة 0.25% ، والعديد من الأكاسيد الأخرى التي تجعل فيه تعريق جميل. تتراوح نسبة امتصاصه للماء بين 0,35% إلي 0,38%، وتقدر كثافته بحوالي 2640 كجم/ م^3، ومقدار قوة الضغط بحوالي 91 ميجا باسكال MPa، في حين أن مقاومة الاحتكاك بين 18إلي 21، واختبار الصدمات ارتفاع السقوط الأدنى له بين 57إلي 58 سم. غير أنه ضعيف في مقاومته للرطوبة والعوامل الجوية؛ مما قد يتسبب في قابلية التكسر مع الوقت. كما تظهر به في بعض الأحيان فجوات سطحية، وقد تظهر شقوق سطحية أيضاً. يتشرب المواد المحيطة به مما يتسبب في بقع لونية. - يحتاج إلي بعض المعالجات لتملئة المسامات وإصلاح الشقوق، كما يحتاج إلي المعالجة بطبقة عازلة ضد التشرب قبل التركيب.		



رخام سيلفيا Silvia	رخام صني Sunny	رخام الألباستر مصري Alabaster
- يستخرج من الصحراء الشرقية. - ويُقدر معدل امتصاصه للماء حوالي 0,33% من حجمه وكثافته 2721 كجم/م^3 في حين أن قوة الضغط عليه تصل إلى 67 M.pa ومقاومة الاحتكاك 23,7 صلادة، وفي اختبار الصدمات يكون ارتفاع السقوط الأدنى حوالي 53سم. [25] - إلا أنه قد تظهر به بعض الشقوق مما يحتاج معالجة للشقوق وتملئتها.	- يستخرج من الصحراء الشرقية، يستخدم على نطاق واسع وذلك بسبب متانته، ومقاومته للعوامل الطبيعية والرطوبة، كما يصدر للخارج. - يقدر مقدار امتصاصه للماء بحوالي 0,33% من وزنه، وكثافته 2618 كجم/ م^3 ومقاومة الالتواء 87 M.pa، ومقاومة الاحتكاك 23 صلادة، ارتفاع السقوط الأدنى له حوالي 56سم. [25]	-يستخرج من قنا وأسيوط وتل العمارنة. - وقد يتوافر الألباستر في اللون الأبيض المصفر ذو التجزيع الأبيض والذهبي، والبني [10]. -الكثافة النوعية له حوالي2600 كجم/م^3، التحمل للضغط على1 سم^2 8 كجم. [25] -يتميز بانخفاض نسبة صلابته مقارنة بغيره؛ مما يسهل عملية تشكيله. يتميز ايضاً بنسبة شفافية عالية؛ مما يجعله من أنواع الرخام المستخدمة مع الإضاءة لتعطي نتائج عالية الجمال.

جدول(1): أنواع الرخام المحلي شائعة الاستخدام.

والقلويات أو الغازات المكونة للهواء الجوي، ويمكن تركيب الجرانيت بأي من المون الأسمنتية أو التركيب بالراتنجات الطبيعية أو الصناعية. تتراوح قوة الضغط علي الجرانيت بين 1100- 2200 كجم/ سم2، معايير الكسر علي الجرانيت (مقاومة الشد)-1850 2820 كجم/ سم2، معايير المرونة 420- 700 طن/ سم2، كثافته 2500- 2850 كجم/ م3، النسبة المئوية للمسامية صفر- 1% [4].

1-4 ايجابيات وسلبيات الرخام و الجرانيت:

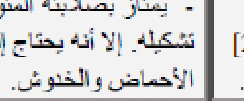
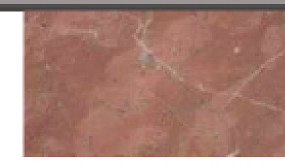
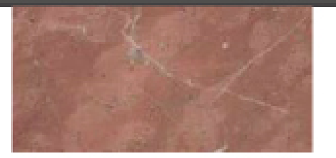
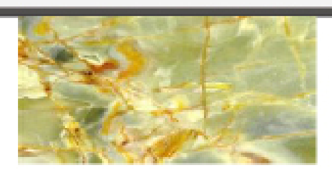
1-4-1 ايجابيات وسلبيات أنواع الرخام شائعة الاستخدام:

-1-1-4-1 الرخام المحلي:

1-4-1-2 الرخام المستورد:



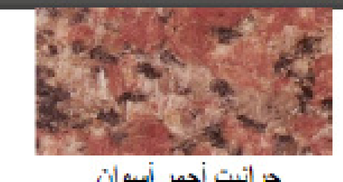
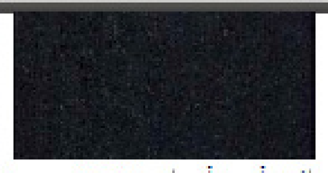
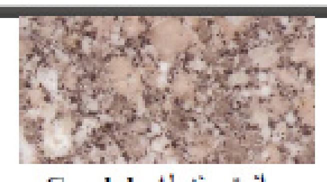
رخام كراره ايطالي Carara	رخام ابيض تركي Manyas White	رخام أرابسكاتو Arabescato
- يستخرج من مدينة كرارا الايطالية. من أشهر أنواع الرخام. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1315,0 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 173,0 كجم/سم^{2}. الكثافة 2667 كجم/م^{3}، ارتفاع السقوط الأدنى 75 سم. [26] - يتميز بالصلابة العالية، كما يتميز بشفافيته، إلا أنه يتشرب المواد المحيطة مما يجعله عرضة للبقع. - يحتاج معالجات الوقاية من التبقع ، وكذلك الخدوش. وهو يصلح في بلاطات الزجاج المضيء.	- يستخرج من تركيا، وهو من بدائل رخام الكرارة. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 691كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 52كجم/سم^{2}. الكثافة 2709 كجم/م^{3}. [26] - يتميز بجمال تجزيعه، وانخفاض سعره مقارنةً بالكرارة الإيطالي؛ إلا أنه يقل في المقاومة، كما يقل في نسبة الشفافية. معدل كسره أكبر من الكرارة؛ لذلك ينصح بعدم كبر مقاسات بلاطاته. كما أن نسبة تشربه للمواد أعلي؛ فيحتاج إلي معالجات للوقاية من التبقع والخدوش. أيضاً يعتبر نسبة لمعانه بعد الصقل أقل من الكرارة.	-يستخرج من ايطاليا. -من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1290 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 239,0 كجم/سم^{2}. الكثافة2699كجم/م^{3}. ارتفاع السقوط الأدنى في اختبار الصدمات42,50 سم[26]. -يتميز بجمال عروقه الرمادية الكثيرة، وصلابته العالية، ولمعته العالية عند صقله. إلا أنه بحكم لونه له قابلية للتبقع فيحتاج إلي معالجات خاصة للوقاية من التبقع والخدوش، وهو يصلح في بلاطات الزجاج الملون.
رخام أسود تركي Black karacabey	رخام كلاكاتا داكن Calacatta macchia	رخام كلاكاتا (فاتح) Calacatta bianco
- يستخرج من تركيا. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 708 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 100كجم/سم^{2}. الكثافة770كجم/م^{3}. [26] القدرة علي امتصاص الماء0,20 % من الحجم معامل المرونة12,30 كجم/م^{2}. - يمتاز بصلابته العالية، وثبات لونه.	- يستخرج من ايطاليا. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1105كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 146كجم/سم^{2}. الكثافة717كجم/م^{3}. أرتفاع السقوط الأدنى 22,50 سم. [26] - يمتاز بجمال تجزيعه وكثرتها ونعومتها.	- يستخرج من ايطاليا. وهو أكثر بياضاً ونعومة مقارنته برخام الكرارة. - ومن خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 844,0 كجم/سم^{2}. الكثافة2674كجم/م^{3}. ارتفاع السقوط الأدنى 71 سم. [26] - نظراً لعدم توافره بكثرة فهو أغلي سعراً من الكرارة. يحتاج معالجة ضد البقع، والرطوبة.
رخام إمبرادور داكن Marron imperial	رخام برديليو Bardiglio	رخام بوتشينو ايطالي. Botticino classico

- يستخرج من أسبانيا، ويتوافر في درجتين الفاتح والداكن. - من خواصة: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 597 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 210 كجم/سم^{2}. الكثافة2650كجم/م^{3}. القدرة علي امتصاص الماء 40% من الحجم. ارتفاع السقوط الادني35 سم. [26] - يتميز بجمال ألوانه، إلا أنه قابل للتفتت.	- يستخرج من ايطاليا. - ومن خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1455,0 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 208,0 كجم/سم^{2}. الكثافة 2698,0 كجم/م^{3}.أرتفاع السقوط الادني 28,80 سم. - يمتاز بصلابته المتوسطة فهو سهل في تشكيله. إلا أنه يحتاج إلي معلجة لمقاومة الأحماض والخدوش.	- يستخرج من منطقة بتشينو بإيطاليا. - ومن خواصة: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 2161كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 60,0كجم/سم^{2}. الكثافة 2682,00كجم/م^{3}. امتصاص الماء 0,55 % من الحجم. أرتفاع السقوط الادني 29 سم. - يمتاز بجمال لونه إلا أنه يحتاج لمعالجات مقاومة للامتصاص، والتبقع، والخدوش.
رخام احمر فيرونا. Nembro rosato	 رخام الكانتي. Rojo alicante	 رخام أخضر هندي Emerald green
- يستخرج من ايطاليا. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1167,7 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 110,2 كجم/سم^{2}. الكثافة 2688 كجم/م^{3}. القدرة علي امتصاص الماء0,22 % من الحجم. - متوسط الصلابة، سهل التكسر فهو يحتاج لمعالجة ضد التكسر والخدش.	- ويستخرج من اسبانيا. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1509,00 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 124,00 كجم/سم^{2}. الكثافة 2696,00 كجم/م^{3}. [26] - يمتاز بجمال لونه، وصلابته العالية.	- يستخرج من الهند. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر. 1554,80 كجم/سم^{2}. مقاومة الانحناء 235كجم/سم^{2}. الكثافة 2780كجم/م^{3}. القدرة علي امتصاص الماء 0,09 % من الحجم. [26] - ويعتبر من الأنواع الشائعة نظراً لصلابته العالية ورخص سعره مقارنة بغيره.
رخام ترافانتيا بيج Travertino	 رخام اونكس اخضر. Onice Verde	رخام اونكس بيج فاتح. Onice Miele
- يستخرج من ايطاليا، كما يوجد في مصر. - الكثافة النوعية حوالي 2710 كجم/ م^{3}، نسبة تحمل الضغط على 1 سم^{2} 10 كجم. الوزن النوعي 1.68، مقياس الصلابة 3-4، وهو ذو مسامية عالية، درجة الصلابة 1 [8]. - يتميز بالمقاومة العالية للتغيرات الجوية وعدم تغير لونه. إلا أنه تظهر على سطحه نتوءات صغيرة غير غائرة؛ مما يجعله بحاجة إلي بعض المعالجات.	- يستخرج من ايطاليا، الهند. - ويتركب الأونكس من أكسيد السيليكون SiO_2 كمكون أساسي. - وهو يعتبر من الأحجار ذات النعومة العاليه عند صقله، ولكنه بالإضافة إلى ذلك من الأنواع سهلة الكسر والتفتت فيحتاج إلي تقنيات معالجة. ويعتبر الأونكس ذو درجة صلابة 7 ووزنه النوعي 2,60، معامل الإنكسار الضوئي له 1,53، أما معامل الإنكسار الضوئي المزدوج له 0,004. [26] - وهو من الأنواع ذات الشفافية العالية [3]؛ مما يجعله صالح الإستخدام مع الإضاءة ليعطي نتائج رائعة.	

جدول(2): أنواع الرخام المستورد.

-2-4-1 ايجابيات وسلبيات أنواع الجرانيت الشائعة الاستخدام:

-2-2-4-1 أنواع الجرانيت المحلي:

 جرانيت أحمر أسوان.	 جرانيت أسود أسوان Granodiorite	 جرانيت جندولة Gandola

- ويسمي بالصوّان ويستخرج من النوبة وأسوان ولونه وردي داكن وفاتح وبه حبيبات سوداء أو رمادية ، وتعتبر نسبة تحمله للضغط عالية جداً، ومتوسط الكثافة النوعية له 2,8 طن/ م^2 كما تعتبر حبيباته كبيرة أي أنه ذو نسيج خشن. [12]	- يستخرج من أسوان وبلاد النوبة، ويعرف أيضا بالسيانيت، ولونه رمادي وبه حبيبات بيضاء من الفلسبار، كما توجد صخور أخري رمادية داكنة تختلف نسبة وتكوين الفلسبار والكوارتز بها، ويعتبر ذو نسيج خشن أو حبيبات كبيرة. [12]	- لونه رمادي فاتح به حبيبات وردية وبيضاء، وهو ذو حبيبات صغيرة، أو نسيج مدمج إلي حد ما، ويتميز بالصلادة العالية، ويستخرج من منطقة شبه جزيرة سيناء. [12]

جدول(3): أنواع الجرانيت المحلي.

2-2-4-1 أنواع الجرانيت المستورد:

 جرانيت اكوامارينا,White Marina	 جرانيت أبلدور LA BRADOR	 جرانيت بلفاست (أسود أفريقي). Belfast
- يستخرج من إيطاليا. - ومن خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر : 2340 كجم/ سم^2. الكثافة: 2620,0 كجم/ م^3. ارتفاع السقوط الأدنى في اختبار الصدمات: 70,0 سم. [26]	- ويستخرج من النرويج، ذو لون أزرق داكن به بريق، نسيجه خشن. - ومن خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر 1959,0 كجم/ سم^2. مقاومة الانحناء 193,0 كجم/سم^2. الكثافة 2730 كجم/ م^3 القدرة علي امتصاص الماء 0,03% من حجمه. ارتفاع السقوط الأدني له في اختبار الصدمات 45 سم. [26]	- ويستخرج من جنوب أفريقيا. - ومن خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر: 2752 كجم / سم^2. مقاومة الانحناء : 255 كجم / سم^2. الكثافة : 2940 كجم / م^3. القدرة علي امتصاص الماء: 0,08% من الحجم. [26]
 جرانيت سلفادور Salvador	جرانيت جالاكسي Star Galaxy	 جرانيت رمادي البرتغالي Crystal azul
- يستخرج من البرازيل، لونه متدرج البني الداكن والفاتح والرمادي، ذو حبيبات صغيرة متداخلة. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر : 1739كجم/سم^2. مقاومة الانحناء: 164,3كجم/سم^2. الكثافة: 2638كجم/م^3. القدرة علي امتصاص الماء : 0,18% من الحجم. ارتفاع السقوط الأدنى 43سم. [26]	- يستخرج من الهند، ذو لون أسود وبه حبيبات لامعة من اللون الفضي والذهبي. - يتميز بالصلابة العالية ومقاومة الأحمال، والعوامل الجوية. [26]	- يستخرج من البرتغال، لونه رمادي مائل للأزرق به حبيبات سوداء ورمادية داكنة، وهو يعتبر ذو نسيج خشن. - من خواصه: حمل الضغط المؤدي الي الكسر: 1646كجم/سم^2. مقاومة الانحناء: 162كجم/سم^2. الكثافة: 2684 كجم/م^3. القدرة علي إمتصاص الماء: 0,19% من الحجم. ارتفاع السقوط الأدني له في اختبار الصدمات 75سم. [26]

جدول(4): أنواع الجرانيت المستورد.

2- السلبيات الشائعة للرخام الطبيعي وتقنيات المعالجة الحديثة:

2-1 السلبيات (العيوب) الشائعة في الرخام الطبيعي:

2-1-1- وجود بعض الفجوات. صورة(5-أ).

2-1-2- ارتفاع نسبة الرطوبة.

2-1-3- وجود شقوق سطحية كبيرة نسبياً في بعض أنواع الرخام (التصدع أو التشقق). صورة(5-ب).

2-1-4- وجود بقع لونية، قابلية التفاعل الكيميائي وتكوين بقع لونية (قابلية التبقع). صورة (5-ج).

2-- التقنيات الحديثة المستخدمة لمعالجة عيوب الرخام:

هناك بعض الماكينات المستخدمة للتعامل مع هذه الخصائص الغير مرغوب فيها والموجودة في بعض أنواع الرخام، وذلك من خلال أفران تجفيف خاصة للرخام الذي يحتوي علي نسبة رطوبة عالية، وأفران لتجفيف المواد الكيميائية المستخدمة في هذه المعالجات، وكذلك إنتاج بعض المواد الكيميائية التي تستخدم في ملىء الفجوات والشروخ ومعالجة الشقوق والتغلب علي هذه العيوب التي قد تحدث مشاكل ضخمة عند الاستخدام.

2-2-1 تقنية معالجة الرخام بواسطة أفران التجفيف:

وهي إما أفران تجفيف بالهواء الساخن والتي تعمل بواسطة الغاز

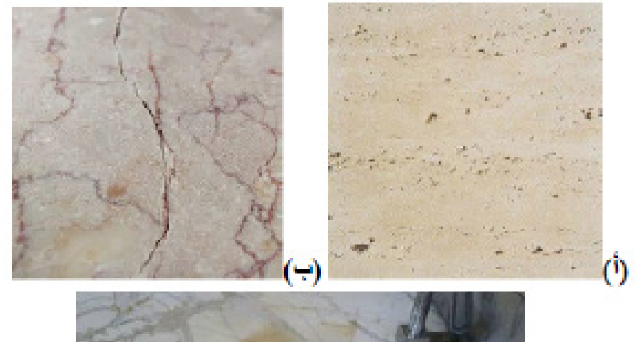
أو الكهرباء، أو أفران التجفيف بالأشعة تحت الحمراء، أو الأفران الطابقية Marmax، أو أنظمة التجفيف بالأشعة فوق البنفسجية، وتقسم استخدامات أفران التجفيف في التعامل مع الرخام إلي عدة خطوط ومنها:

2-2-1-1- خطوط التجفيف:

وفي هذه الخطوط تستخدم الافران في تجفيف بعض أنواع الرخام والترافنتين (تم ذكره في جدول 2) ذات نسبة الرطوبة العالية كتركيب طبيعي، وذلك عن طريق التسخين في وجود أجهزة دوران الهواء داخل هذا النظام المغلق الذي يحتوي أيضاً علي مصابيح ذات أشعة تحت الحمراء والتي تتسبب في إصدار الحرارة، وفي هذه الحالة يجب ألا يتبقي داخل فرن التجفيف أي ماء متكاثف.

2-2-1-2- خطوط التملئة للمسامات السطحية:

تتكون من عدة مراحل منها: التنظيف الأولي للسطح، والتجفيف أو إزالة الماء وذلك عن طريق أفران التجفيف تحت الحمراء، ثم عملية التملئة؛ وتتم من خلال وضع مواد كيميائية مالئة داخل الفجوات أو المسامات، وتكون هذه المواد إما ذات أساس البوليستر التي تستعمل مع الأفران العادية، أو مواد كيميائية فوق بنفسجية (UV epoxy acrylics)، وهي ما يستخدم في الأفران التي تجمع بين الأشعة تحت الحمراء و الأشعة فوق البنفسجية، وبعد عملية التملئة تأتي عملية التسوية والتلميع. صورة(6).





(أ): وجود فجوات سطحية. (ب): الشقوق السطحية (التصدع). (ج): قابلية التبقع.
صور(5): العيوب الشائعة للرخام الطبيعي.



صورة(6): ماكينة مليء الفجوات والشقوق بالإيبوكسي (UV Epoxy Acrylics).

2-2-1-3- خطوط إصلاح الشقوق:

ويتم ذلك بمليء الشقوق بمادة الإيبوكسي بعد تجفيف سطح الرخام في أفران الأشعة تحت الحمراء أو الأفران الطابقية (متعددة الطبقات) وبعد التملئة تجفف مرة أخري في الأفران الطابقية وذلك لتجفيف الإيبوكسي، ثم تجري عملية المسح الأولي لاكتشاف أي عيوب أخري كنتيجة للعملية السابقة.

2-2-1-4- التكسية والتجفيف:

وهو نظام تكسية وتملئة شفافة وتجفيف محتوي الرطوبة العالي للأسطح ذات نسبة الرطوبة العالية المراد تكسيها بالكامل وذلك لقابليتها للتفتت، ويتم ذلك عن طريق بعض المواد الكيميائية فوق البنفسجية التي تستخدم في العديد من المجالات، وتستخدم في مجال صناعة الرخام في إصلاح الشقوق والتملئة الشفافة [20].

2-2-2 ماكينات معالجة ألواح الرخام بواسطة الراتنجات:

في هذه الماكينات تتم المعالجة بواسطة رش راتنجات خاصة علي سطح ألواح الرخام (دون غمر) فتتغلغل بعمق داخل الفراغات الناتجة عن التصدعات أو الشروخ أو ما يطلق عليه الدمار، ثم تجفيفها، مما يؤدي إلي نتيجة سليمة من حيث التماسك، والصلابة، كذلك اللمعة المطلوبة وذلك بشكل طبيعي لا تظهر فيه هذه المواد [17]. صورة(7).



صورة(7): ماكينة رش الرخام بواسطة الراتنجات.

2-2-3 تقنيات معالجة الرخام بواسطة المواد الكيميائية:

تستخدم الطرق الاعتيادية للتلميع مثل استعمال الورنيش بأنواعه المختلفة، والشمع الخاص، كما يستخدم البلاستيك الشفاف السائل بطريقة الرش العادي [1]. ومع التقدم التكنولوجي ظهرت مواد حديثة أكثر نفعاً ومنها:

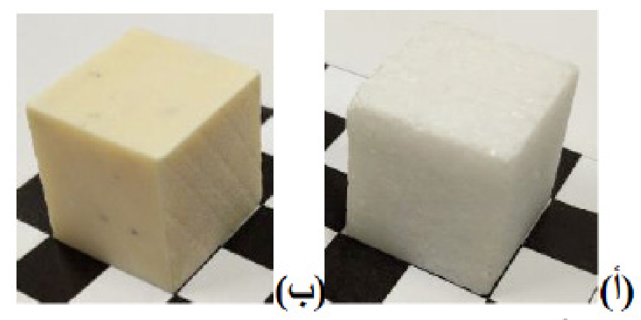
2-2-3-1- معالجة الرخام بالراتنجات فوق البنفسجية MMP Filling UV:

وهي مواد كيميائية راتنجية تستخدم في مليء الفجوات والعيوب الخاصة بالرخام والاحجار الجيرية، وتتميز بسرعة التجفيف فلا تحتاج إلا لثواني للجفاف عند تسليط الأشعة فوق البنفسجية عليها(UV light)، كما أنها لا تسبب أي تغير في اللون بمرور الوقت، فهي تعطي اللون الفعلي للخامة المستخدمة عليها، وهي ذات شفافية ولمعان طبيعيين وبالتالي فهي لا تظهر كمادة دخيلة. وهي تستخدم أيضاً في طلاء أسطح الحجر الجيري فيمكنها زيادة المقاومة للسوائل مما يقلل من سرعة تآكلها وتعطيها مقاومة عالية ضد الخدش والصدمات والبقع [21].

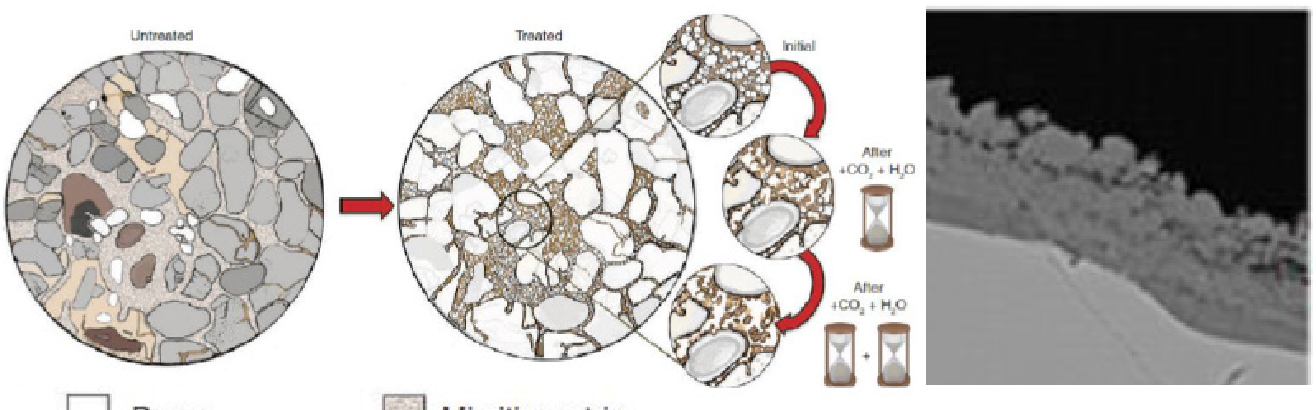
2-2-3-2- معالجة الرخام بحمض الأوكزليك (Oxalic Acid):

يعالج الرخام بواسطة حمض الاوكزالات ذو نسبة الحامضية المنخفضة (PH). وإذا أضيف إليه أكسيد الحديد الأحمر Hematite يصلح في تلميع أسطح الجرانيت وبعض الأنواع الأخري من الأحجار التي نسبة صلادتها عالية وتقدر بحوالي 6 أو أكثر. تعمل هذه المعالجة علي تلميع السطح النهائي ووقاية الرخام من التأثيرات الكيميائية نتيجة بعض المواد التي يمكن أن ينتج عنها تغير في اللون

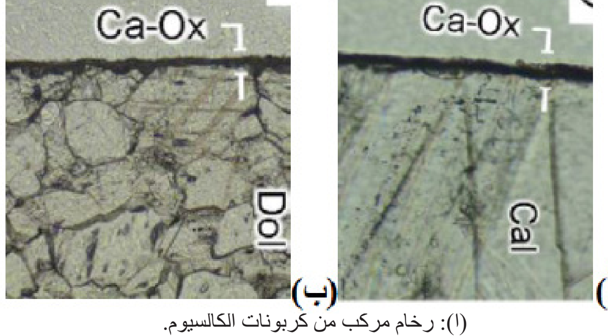
أو إحداث بعض الفجوات أو الشقوق. الصور(8)،(9)،(10). [6].



(أ): رخام مركب من كربونات الكالسيوم.
(ب): رخام مركب من الدلوميت.
صور(8): قطع من الرخام مستخدمة للتفاعل. المصدر: [6]



صورة(9): صورة إلكترونية (BSE image). توضح تأثير حمض الاوكزاليك علي الرخام ليكون طبقة من أوكزالات الكالسيوم(Ca-Ox) باللون الداكن. المصدر: [6]



(ا): رخام مركب من كربونات الكالسيوم.
(ب): رخام مركب من الدلوميت.
صور(10): صور مجهرية توضح تأثير حمض أوكزاليك علي الرخام في درجة حرارة 20º ليكون طبقة من أوكزالات الكالسيوم(Ca-Ox) ذات اللون الداكن. المصدر: [6]

2-2-4- معالجة الرخام بواسطة مركبات النانو تكنولوجي:
تستخدم العديد من المركبات النانوية في مجال التشييد والبنا والعمارة والتصميم الداخلي والأثاث. سواء كان ذلك للتعامل مع الخامات قبل تركيبها وذلك من خلال تغيير بعض صفاتها، أو مع الخامة بعد تركيبها بغرض المحافظة عليها. ويستخدم مركب هيدروكسيد الكالسيوم النانوي (Ca (OH)2) لتغطية بعض الخامات مثل الحجر الجيري والرخام بهدف المحافظة علية من التكسر؛ ويتم ذلك في أغلب الأحيان للمحافظة علي الآثار والتماثيل من التلف أو التكسر. ويتم ذلك من خلال تغطية القطع المرغوب فيها بالمادة النانوية؛ التي تتفاعل مع الخامة وتعمل علي تغطية الفجوات وزيادة الصلابة [5]. شكل(1).

2-5- تقنية معالجة الرخام بواسطة الليزر:
أكدت بعض الأبحاث الحديثة مع التجارب العملية علي امكانية استخدام أشعة الليزر في معالجة الرخام؛ سواء في تقليل نسبة الرطوبة الداخلية أو تقليل الفجوات والشقوق، كما يمكنها تحسين خواصه الميكانيكية. ويتم ذلك عن طريق تسليط حزمة من أشعة الليزر قصير النبضات (Ultra-short pulse.) علي الرخام مما ينتج عنه تقليل نسبة الرطوبة وتغطية الفجوات والشقوق، كما يمكنه رفع معدل الالتصاق بالمعدن، والتنظيف الذاتي، الحماية من التآكل. وتتميز هذه التقنية بأنها تتم في خطوة





(ا): رخام مركب من كربونات الكالسيوم.
(ب): رخام مركب من الدلوميت.
صور(10): صور مجهرية توضح تأثير حمض أوكزاليك علي الرخام في درجة حرارة 20º ليكون طبقة من أوكزالات الكالسيوم(Ca-Ox) ذات اللون الداكن. المصدر: [6]

واحدة، كما أنها لا يتخللها أية مواد كيميائية فهي صديقة للبيئة [9].

3- التقنيات الحديثة المستخدمة في تشكيل الرخام:

3-1- التقنيات الحديثة المستخدمة في التشكيل ثنائي الأبعاد (2D) للرخام:

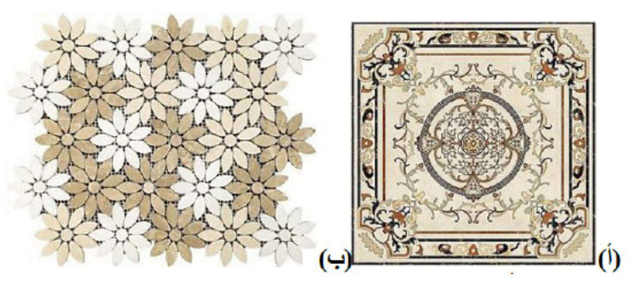
3-1-1- التشكيل باستخدام ماكينات الاندفاع بالمياه Water Jet Machines: ومنها نوعان:

3-1-1-1- ماكينات الاندفاع بالمياه والقطع ثنائي الأبعاد:
وتعتمد فكرة عمل هذه الماكينات علي إمكانية قطع المواد الصلبة بواسطة قوة اندفاع الماء من خلال رأس تحكم ذات قطر صغير جداً، حيث تعتمد علي أساس ضخ الماء بقوة كبيرة جداً عن طريق مضخة خاصة تصل قدرتها إلي 80 حصان يمكنها التحكم في قوة اندفاع الماء. وتعمل هذه الماكينة علي القطع النظيف خلال الرخام والجرانيت بجميع أنواعه دون حدوث أي تشققات أو أي تهشم. وتستعمل هذه الماكينات بمختلف أنواعها في تشكيل العديد من الخامات الصلبة مثل المعادن والأحجار والزجاج، وتصل سرعة اندفاع الماء خلال الفوهة بمقدار

ثلاث مرات اكبر من سرعة الصوت، وعن طريق إضافة بعض المواد الكيميائية التي تساعد في عملية القطع تسمي بالمواد الحاكة تستطيع الماكينة من قطع أي شكل وأي مادة وبسمك يصل إلي 150مم [29]. يتسم هذا النظام بالسرعة والدقة العالية والحرارة الضعيفة التي لا تؤثر علي المواد الحساسة للحرارة، إلي جانب الإجهاد الميكانيكي القليل، مما يقلل في التكاليف المادية، بالإضافة إلي تقليل التلوث البيئي بالغبار والأتربة التي قد تنتج خلال القطع بالطرق الأخرى. كما تتميز هذه الماكينات بأن بعضها يعمل علي الثلاثة محاور، بالإضافة إلي السرعة الفائقة والدقة البالغة، وهي من الماكينات ذات التحكم الرقمي (Computer Numerical Control) CNC. الصور(11)،(12).



صورة(11): ماكينة الووترجت والقطع ثنائي الأبعاد للرخام.
المصدر: https://www.indiamart.com/ water-jet-cutting-services.

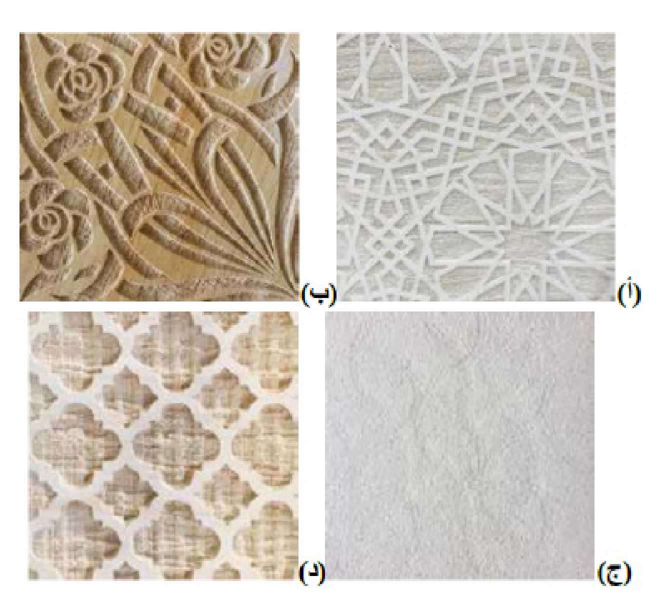


(أ): انتاج الخطوط المستقيمة والمنحنية والدائرية.
(ب): انتاج التماثل مع التماس.
صور(12): بعض إنتاج الماكينة.
المصدر: https://www.kphstone.com/waterjet-and-pattern



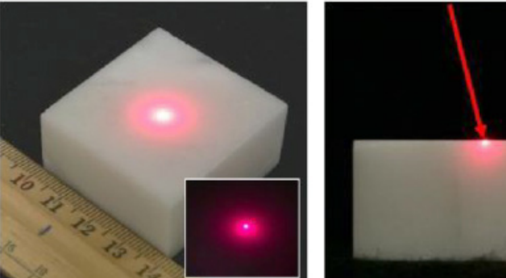
صورة(13): ماكينة الووترجت لتشكيل ملمس السطح.

3-1-1-2- ماكينات الاندفاع بالمياه وتشكيل ملمس السطح الخارجي:
يستخدم هذا النوع من الماكينات لإضفاء ملمس خارجي للألواح الرخام والجرانيت والعديد من الخامات الأخرى. يتراوح هذا الملمس بين الملمس الناعم والخشن أو الحفر البارز أو الغائر بسمك حفر غير كبير كما هو موضح صورة(13)،(14). [30].



(أ): الخطوط المستقيمة. (ب): الخطوط العضوية.
(ج): تشكيل المساحة. (د): الخطوط المتقاطعة علي أرضية بها تشكيل.
صور(14): بعض إنتاج ماكينة الووترجيت لتشكيل ملمس السطح.
المصدر: [30].

3-1-2- التشكيل باستخدام الليزر:
اكتشف العلماء أن هناك سمة تأثير تستطيع أن تحدثه حزمة من أشعة الليزر عند توجيهها علي قطعة من الرخام، فقد تحدث تغير في التشكيل أو المقياس الهندسي أو تحدث ضجيجاً في الخامة، وقد ثبت أيضاً أنها تحدث حفراً علي سطح الرخام مساوي لقطر هذه الحزمة من أشعة الليزر [23].الصور(15)،(16).



صور(15): تأثير حزمة من أشعة الليزر علي قطعة من الرخام.
المصدر: [23].

تستطيع هذه الأشعة عند تسليطها علي مجسم من الرخام أن تتعرف علي الخصائص البصرية له عن طريق عمل مسح ثلاثي الأبعاد لهذا المجسم (3D Scanning)، حيث يقوم بتوجيه حزمة من أشعة الليزر علي المجسم وعن طريق مقياس زاوية العودة لهذه الأشعة يستطيع قراءة الشكل الهندسي لهذا المجسم [13]. أصبح التشكيل باستخدام هذه التقنية واحدة من أهم أدوات الانتاج الأكثر فعالية، والأقل جهد ووقت وتكلفة، والأفضل نتائج لجميع الأحجام، وكافة أنواع الرخام والجرانيت وذلك عن طريق وحدة

إدخال رقمية يمكن من خلالها إدخال الرسم الهندسي المطلوب تشكيلة من خلال (برنامج الرسم الهندسي Auto CAD). كما تستطيع ماكينات التشكيل بالليزر تشكيل العديد من الخامات الأخرى. كما تتميز هذه الماكينات بالسرعة العالية في أنظمة حفر الصور علي أسطح الرخام والجرانيت، حيث يحول الليزر الرخام والجرانيت الي اللون الابيض في المناطق التي يتم حفرها [24]. الصور(17).

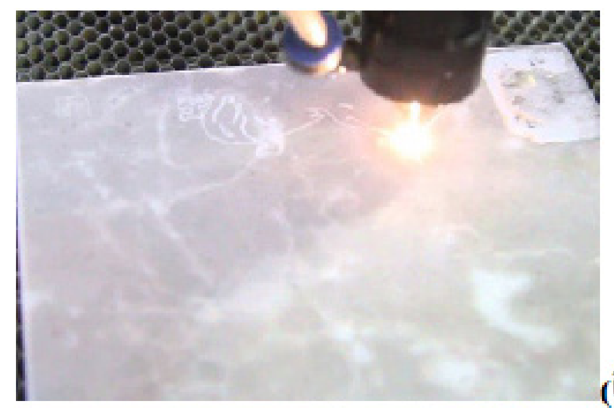


صورة(16): ماكينة المسح ثلاثي الأبعاد(3D Scanning machine).
المصدر: https://scientificservices.eu /-3d-laser-scanner/820

3-2- التقنيات الحديثة المستخدمة في التشكيل ثلاثي الأبعاد(3D) للرخام:
تختلف ماكينات التشكيل ثلاثية الابعاد تبعاً للمهام التي انتجت من أجلها، فمنها ما يستخدم في تشكيل وتلميع الأحرف، ومنها ما يستخدم في خرط الأعمدة، ومنها ما يستطيع عمل الكثير من مهام التشكيل إما بالقطع أو الطحن أو الخرط أو التشكيل أو النحت من كتل رخامية. ومن أنواعها:

1- ماكينات الحلايا.
2- ماكينات التشكيل ذات التحكم الرقمي.
3- ماكينات النسخ ثلاثي الابعاد.
4- ماكينات التشكيل الآلي.
3-2-1- ماكينات تشكيل الحلايا والدورانات:

وهي ماكينات تقوم بعمل الحلايا والدورانات المطلوبة في الأحرف بمختلف أشكالها للعديد من أنواع الرخام والجرانيت بمختلف درجات الصلادة. و يتم ذلك من خلال شفرات خاصة تأخذ شكل الحلية المراد تشكيلها عن طريق إدخال التصميم عبر جهاز الكمبيوتر الخاص بالماكينة، وتستطيع هذه الماكينة من إنجاز مهامها سواء كان ذلك مع الرخام أو الجرانيت وذلك بمختلف درجات الصلابة بمنتهي اليسر والسهولة [16]. الصور(18)، (19).

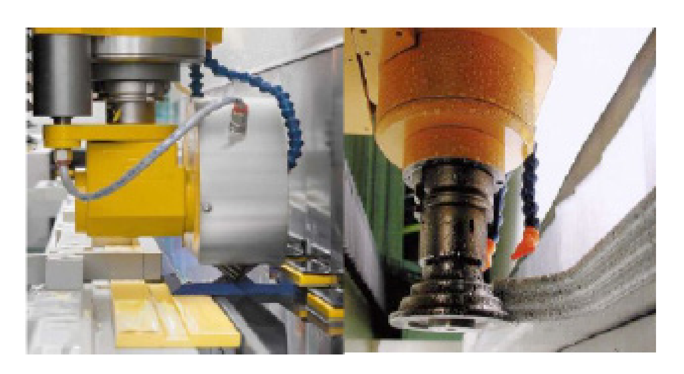


(أ)

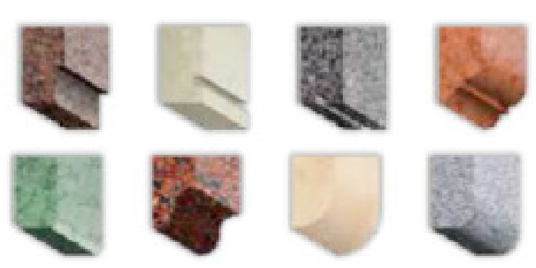


(ب)

(أ): الصورة تظهر رأس التحكم أثناء القيام بعملية الحفر.
(ب): إنتاج الماكينة.
صور(17): التشكيل ثنائي الأبعاد باستخدام ماكينة الليزر.
المصدر: http://cyberspaceandtime.com/



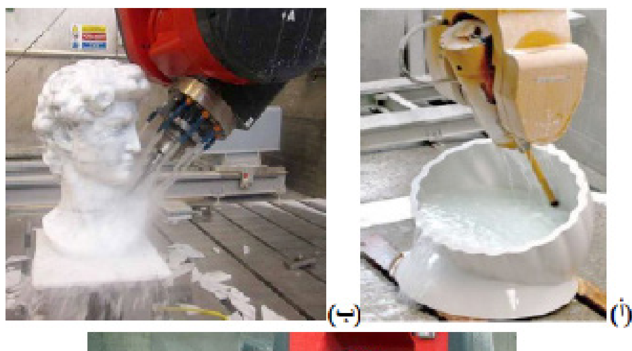
صور(18): تشكيل الحلايا والدورانات بالماكينة الخاصة بها.



صور(19): إنتاج الماكينة لبعض الحلايا.
المصدر: [16].

٣-٢-٢- ماكينات التشكيل ذات التحكم الرقمي (CNC):

ماكينة التشكيل ثلاثي الأبعاد (٣D) وهي تعمل في ثلاثة أو خمسة محاور(٥ axis)، وتستخدم في قطع و تشكيل وجرش وشطف وحفر الكتل أو الطاولات الرخامية أو الجرانيتية، معتمدة في ذلك علي وحدة تحكم رقمية خاصة تعمل من خلال برمجة الحاسب الالي الخاص بالماكينة، ويتم التشكيل عن طريق رأس متحرك يعمل بسرعة عالية وعلي خمسة محاور مختلفة. [١٨] تعمل هذه الماكينة علي التشكيل ثلاثي الابعاد حتي في الكتل الكبيرة الخاصة بالعمارة الخارجية، ويمكنها التشكيل ثلاثي الأبعاد حتي مع التفاصيل الدقيقة وكذلك عمل النحت المجسم والحفر وجميع أنواع التشكيل، كما يمكنها عمل الخرط المطلوب في الأعمدة (والاعمدة المضفرة) بدقة عالية وسرعة كبيرة، وقطع المسطحات والكتل بالمقاسات المطلوبة، وذلك باستخدام التكنولوجيا الذكية. وهي مزودة بالعديد من البرامج الخاصة بالتشكيل والتهشيم والحفر والنشر، يتحكم في ذلك نظام ليزر مكون من حساسات خاصة وموصلة بالنظام المبرمج للماكينة، يساعد ذلك في اختيار الأداة المطلوبة التي يمكنها إنجاز التصميم المطلوب من بين المئات من الأدوات المدمجة بالماكينة، وكذلك يمكنه مراقبة العملية التشكيلية والتحقق من كفاءة واستهلاك كل أداة، وذلك بطريقة أوتوماتيكية. صور(٢٠).





(ا): تشكيل ثلاثي الابعاد لحوض. (ب): تشكيل ثلاثي الابعاد لراس تمثال.
(ج): تشكيل ثلاثي الأبعاد لعمود ذو تشكيل حلزوني.
صور(20): التشكيل الثلاثي الأبعاد للرخام بواسطة الماكينات ذات التحكم الرقمي.
المصدر: [18].

3-2-3- ماكينات النسخ ثلاثي الأبعاد:

وتعتمد هذه الماكينات في عملها علي تقنية خاصة بالليزر حيث يمكنها من خلال المسح ثلاثي الأبعاد بواسطة أشعة الليزر يمكنها رسم هذا المجسم في وحدة التحكم الخاصة بالماكينة رسماً هندسياً ثلاثي الأبعاد، وبعد ذلك عن طريق أدوات التشكيل الملحقة بالماكينة تستطيع الماكينة تنفيذ نفس المجسم بنفس المقاييس، وربما علي نفس الخامة من كتلة أخري، بمعني آخر أن هذه الماكينة يمكنها نسخ المجسمات المراد نسخها من خلال عدة مراحل [31]: صور(21).

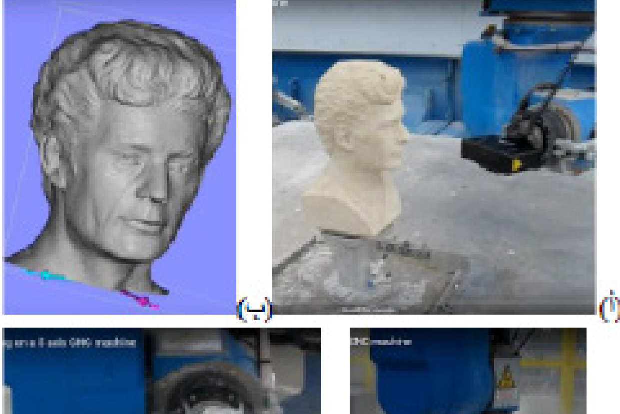
أ- مرحلة المسح ثلاثي الأبعاد (3d Scanning): وفيها يتم مسح ثلاثي الابعاد بتقنية الليزر.

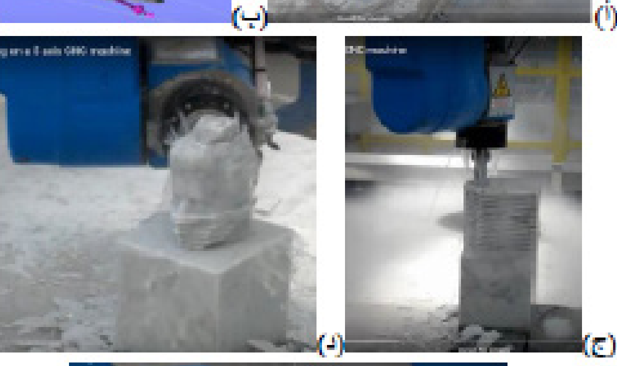
ب- مرحلة الرسم ثلاثي الأبعاد (3d Drawing): وفيها يتم إنتاج رسم ثلاثي الأبعاد للمجسم المراد نسخه.

ج- مرحلة التقطيع أو التسوية(Rough cutting by saw blade): يتم التقطيع إلي شرائح متقاربة كتمهيد للتشكيل.

د- مرحلة التشكيل قبل النهائي (Semi finishing by conic tool): يتم تكسير الشرائح والوصول إلي شكل شبه نهائي.

هـ- مرحلة التشكيل النهائي (Finishing by carbide tool): وفيها يتم الوصول إلي شكل نهائي طبق الأصل.



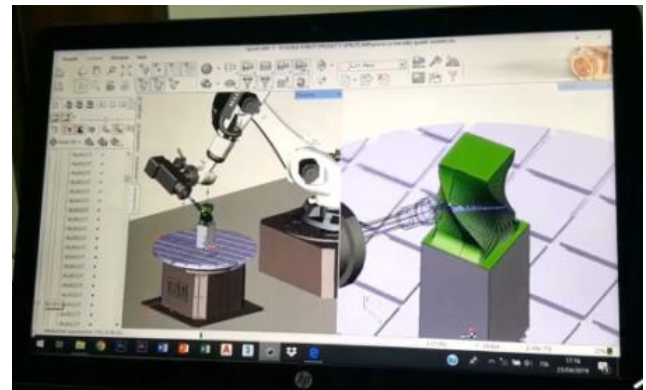


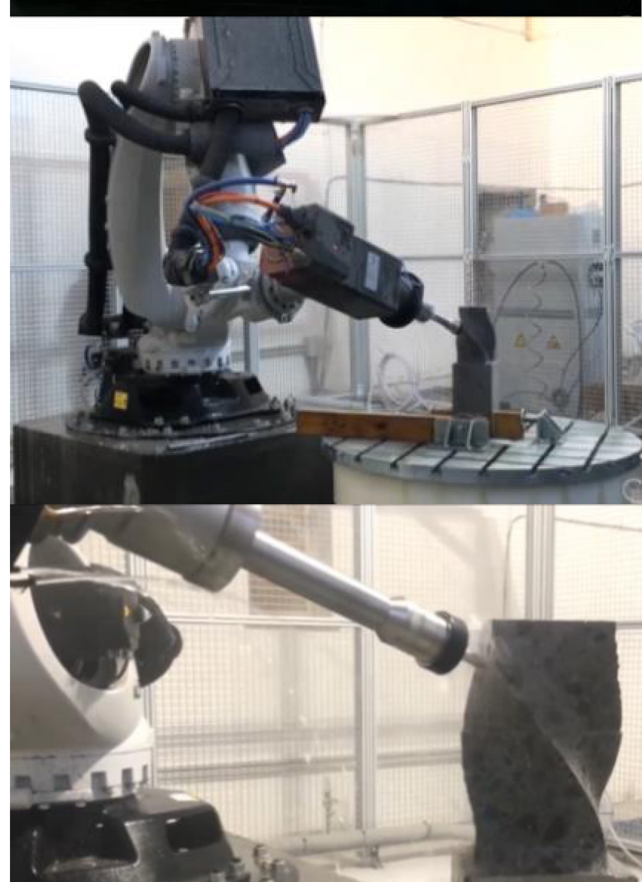


(أ): مرحلة المسح ثلاثي الأبعاد. (ب): مرحلة الرسم ثلاثي الأبعاد.
(ج): مرحلة التقطيع أو التسوية.
(د): مرحلة التشكيل قبل النهائي. (هـ): مرحلة التشكيل النهائي.
صور(21): يوضح المراحل المختلفة لعمل ماكينة المسح ثلاثي الأبعاد. المصدر: [31].

3-2-4- ماكينات التشكيل الآلي ذات التحكم عن بعد (Robotic machines):

تعمل هذه الماكينات من خلال برنامج هندسي يتم رسم التصميم ثلاثي الأبعاد عليه فتقوم الماكينة بالتشكيل ثلاثي الأبعاد للمجسم المطلوب، حيث تثبت الكتلة الرخامية المراد تشكيلها علي قاعدة دائرية تدور حول نفسها فيقوم ذراع التشكيل بعمل حفر متكرر حسب شكل التصميم. كما هو موضح بالصور(22).





(أ): التصميم المراد تشكيله علي برنامج هندسي. (ب): الماكينة أثناء عملية التشكيل.
(ج): الشكل شبه النهائي للتصميم المنفذ.
صور(22): ماكينة التشكيل ثلاثي الأبعاد ذات التحكم عن بعد Robot machine.
المصدر: [22].

- التقنيات الحديثة المستخدمة في تكسيات الرخام:

أولاً: تقنية التكسيات الرخامية بواسطة قطع تثبيت خاصة: وهي أحدث تقنية للتركيب من خلال الطريقة الميكانيكية المعتادة. يتم تثبيت ألواح الرخام في هذه التقنية عن طريق مثبتات متخصصة. حيث تثبت الألواح عادةً بواسطة أربعة قطع تثبيت خاصة على مسافات متساوية من كل ركن من أركانها لضمان توزيع متساوٍ للحمل. وتثبت الخطافات بالقضبان الأفقية التي يتم تثبيتها ميكانيكياً عند نقطتين لتحقيق الاستقرار والأمان. وهي طريقة مثالية وآمنة للتكسيات بألواح الخزف والسيراميك والحجر الطبيعي والرخام بسمك يتراوح من 20 مم إلى 50 مم. هذه الطريقة مناسبة للتكسيات الخارجية والداخلية.

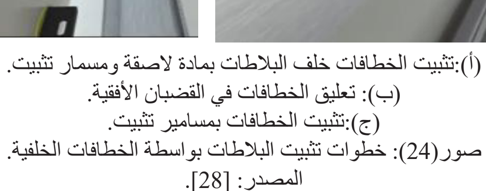
4-1-1- تكسيات الرخام بواسطة قطع تثبيت خلفية: وفيها تركب خطافات خلفية ببلاطات الرخام وتكون موزعة علي مسافات متساوية لضمان توزيع متساوٍ للحمل. يتم تثبيت بلاطات الرخام عن طريق الخطافات بالقضبان الأفقية لشبكة الربط الميكانيكي كما هو موضح بالصور(23)،(24).



صورة(23): تركيب بلاطات الرخام بواسطة خطافات خلفية.





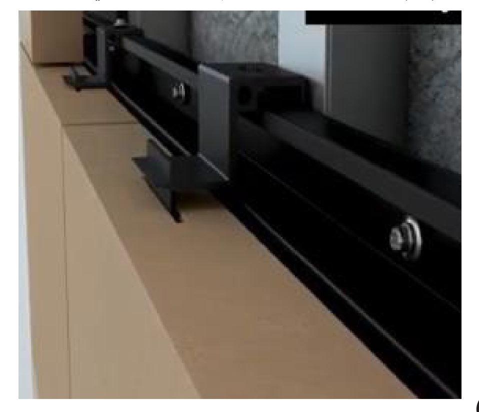


(أ):تثبيت الخطافات خلف البلاطات بمادة لاصقة ومسمار تثبيت.
(ب): تعليق الخطافات في القضبان الأفقية.
(ج):تثبيت الخطافات بمسامير تثبيت.
صور(24): خطوات تثبيت البلاطات بواسطة الخطافات الخلفية.
المصدر: [28].

-2-1-4 تكسيات الرخام بعمل تجويف في سمك بلاطات الرخاوفي هذه الطريقة يتم عمل تجاويف في سمك بلاطات الرخام موزعة علي مسافات متساوية لضمان توزيع متساوٍ للحمل. يتم تركيب بلاطات الرخام بوضع التجاويف في خطافات خاصة مثبتة بالقضبان الأفقية لشبكة الربط الميكانيكي، حيث يتم تعليق البلاطة في الخطاف السفلي ثم يركب خطاف علوي عليها لتثبيتها وهكذا، كما هو موضح بالصور(25)،(26). [28].



صورة(25): تركيب بلاطات الرخام بعمل تجويف في سمك الرخام.



(أ)



(ب)

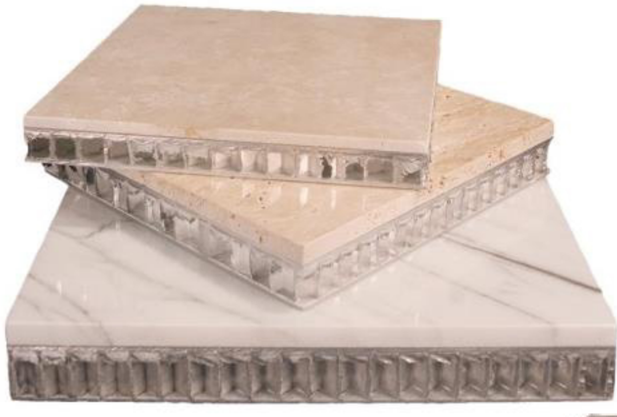


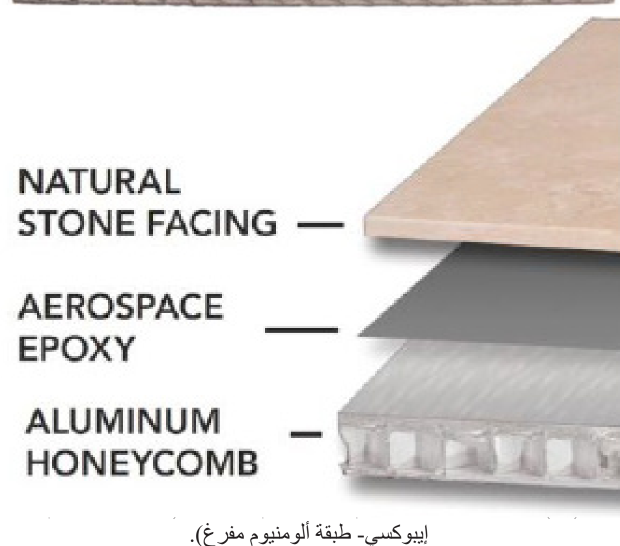
(ج)

(أ): يوضع خطاف علوي لتثبيت البلاطة في القضبان الأفقية.
(ب):يثبت الخطاف بواسطة مسمار تثبيت.
(ج): تعلق البلاطة العلوية بوضعها أعلي الخطاف.
صور(26):خطوات تثبيت بلاطات الرخام بعمل تجويف في سمكها.
المصدر: [28].

ثانياً: تقنية بلاطات الرخام والألومنيوم المدمجة:

تعتمد هذه التقنية علي تشكيل بلاطات خفيفة الوزن مكونة من طبقة رقيقة من الحجر الطبيعي (الجرانيت أو الرخام أو الترافرتين أو الحجر الجيري) يتراوح سمكها بين 1/4 بوصة إلي 3/4 بوصة ملتصقة ببلاطات من الألمنيوم المفرغ بواسطة طبقة من مادة الإيبوكسي فائقة القوة. يبلغ سمك البلاطة الكلي 3/4 بوصة إلي 1 بوصة. صور(27).



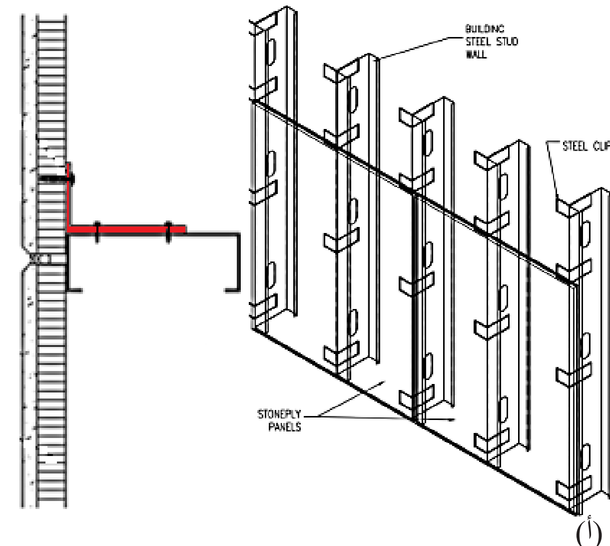


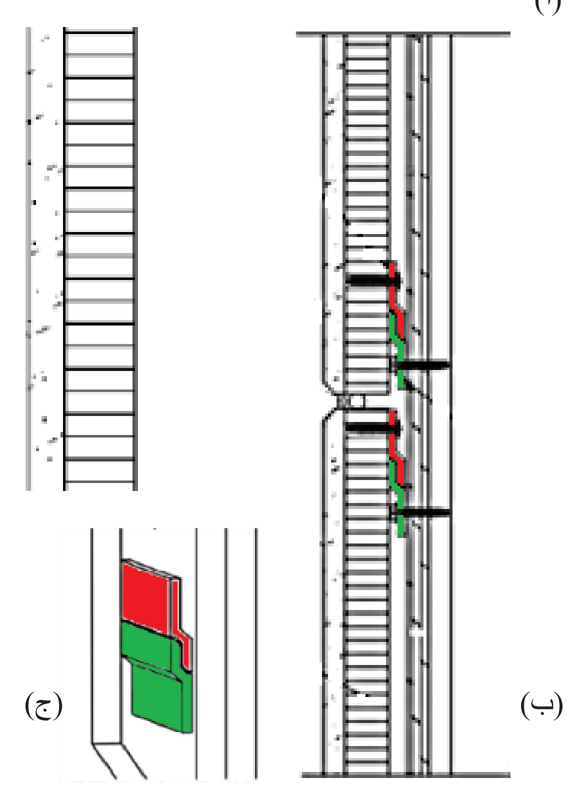
:

إيبوكسي- طبقة ألومنيوم مفرغ).
المصدر:[24].

توفر هذه التقنية للمصممين جمال وجه الحجر الطبيعي مع زيادة قوة الألمنيوم والوزن الخفيف. تصنع البلاطات عادة بمقاسات حسب الحجم والشكل اللازمين للتصميم، ويمكن تصنيع الزوايا والعتبات والأشكال الخاصة بالاتفاق مع المصنع.

ويمكن تركيب بلاطات الرخام والألومنيوم المدمجة علي شبكة التركيب الميكانيكية عن طريق خطافات علي شكل حرف (L) أو علي شكل حرف(Z)، كما بالشكل(2). [27]

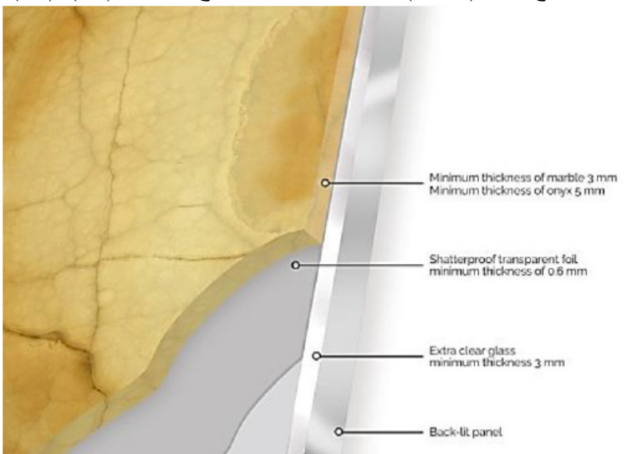




(أ): التركيب بخطافات علي شكل حرف(L)، وتظهر بالرسم باللون الأحمر.
(ب): التركيب بخطافات علي شكل حرف (Z)، وتظهر بالرسم باللون الأحمر للجزء المثبت بالبلاطة، واللون الأخضر للجزء المثبت بالحائط.
(ج): التركيب بمادة لاصقة قوية (Construction Adhesive).
شكل(2): طريقة تركيب بلاطات الرخام والألومنيوم المدمجة. المصدر:[27].

ثالثاً: تقنية بلاطات الرخام المضيء:

تعتمد هذه التقنية علي خاصية الشفافية في الرخام التي تظهر بشكل كبير في بعض الأنواع مثل الألباستر والأونكس (تم ذكرهم في جدول 1، جدول2)؛ فهي تصلح مع بعض أنواع الرخام ولا تصلح مع الجرانيت. تتكون البلاطات من طبقات من الرخام -المعزز بطبقة مانعة للكسر- والزجاج مدمجان مع لوحة (LED) مضيئة. كما هو موضح بالصور (28)،(29).



صورة(28): تكوين بلاطات الرخام المضيء(طبقة خارجية من الرخام بسمك3مم أو الأونكس5مم، طبقة من الألومنيوم الشفاف المضاد للكسر، وطبقة من الزجاج بسمك3مم، وخلفية البلاطة).



-1 بلاطة الرخام المضيء.
-2 قضيب التعليق العلوي.
-3 قضيب التعليق الأوسط.
-4 قضيب التعليق السفلي.
-5 القضبان الجانبية.
-6أداة تثبيت علوية.
-7 مشبك تثبيت في القضيب الجانبي.

-8 قابس كهرباء مثبت بالقضبان الجانبية.
-9 مشبك لتثبيت البلاطة.
صورة(29): طريقة تركيب بلاطات الرخام المضيء. المصدر: [19].

تتميز هذه التقنية بالوزن الخفيف والمتانة والقيمة الجمالية العالية. وتستخدم في التصميم الداخلي؛ حيث تزيد المكان جمالاً بجمال تكوين وألوان الرخام الطبيعي وكأنها لوحة فنية رائعة. صور(30). [19].





صور(30): الفرق الجمالي بين إضاءة بلاطات من رخام الاونكس البيج وعدم إضاءتها. المصدر: [19].

-5 النتائج Results:

- تختلف الخواص العامة لأنواع الرخام والجرانيت تبعاً لتركيبها الكيميائي، وكذلك تختلف ألوانها وشكلها.
- هناك بعض السلبيات التي تظهر في بعض أنواع الرخام ويجب تجنبها عند استخدامه منها الفجوات، وارتفاع مستوي الرطوبة، والشقوق، والبقع.
- استطاعت التقنيات الحديثة عن طريق استخدام المعالجات الخاصة للرخام من تخطي السلبيات الخاصة ببعض أنواع الرخام، كما استطاعت الوصول إلي رخام مقاوم للتآكل وأملس ولامع السطح، ورخام ذو صلابة عالية ومحتوي رطوبة قليل.
- كان لاستخدام التقنيات المتقدمة في مجال تصنيع الرخام الأثر الكبير في إمكانية تصنيع تصميمات لم تكن قابلة للتصنيع من قبل.
- أثرت التقنيات الحديثة بالإيجاب في مجال تكسيات الرخام؛ فجعلتها أيسر وأوفر اقتصادياً.
- تؤثر الخواص والتقنيات الحديثة للرخام تأثيراً كبيراً علي الرؤية الجمالية للتصميم.

-6 التوصيات Recommendations:

- ضرورة الاهتمام بتدريس الخواص العامة للأحجار وتصنيفها، وخصائص وألوان واستخدامات كل نوع منها.
- يتعين أن يلم المصمم بإمكانيات الماكينات وخصائص أدائها من خلال تنظيم دورات للمصممين في الوحدات الإنتاجية.
- الدعوة إلى زيادة إنشاء المصانع التي تستخدم أحدث تكنولوجيا للماكينات والأجهزة الحديثة المطورة التي تعمل في مجال معالجة وتصنيع الرخام.

-7 المراجع References:

-1-7 مراجع باللغة العربية:
[1] حسين الليثي، أحجار البناء والزينة في مصر، مطابع جريدة الجمهورية، 2003، ص 84.
[2] عماد الدين أفندي، أطلس الصخور والمعادن، دار الشرق العربي، 2014، بيروت، ص-92 95.
[3] محمد ماجد خلوصي، الكميات والمواصفات ومعدل الاداء لاعمال البناء، الجزء الاول، 2001، ص 368.
[4] مصطفي السيد شحاتة وعبد الوهاب عوض، خواص مواد البناء واختباراتها، دار الراتب الجامعية، بيروت 1990، ص27.

-2-7 مراجع باللغة الإنجليزية:
[5] A. Sierra-Fernandez, New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials: A review, Published research, Materials de Construction, Vol. 67, Issue 325, January–March 2017, p3.
[6] A. Burgos-Cara, Effectiveness of oxalic acid treatments for the protection of marble surfaces, Published research, Material and Design Journal 115,2017, p.82-92.
[7] A.C.Bishop, AR.Woolley, W.R.Hamilton, Philip's, "Minerals Rocks and fossils", Fiefly books LTD, Canada, 2005, p.158.
[8] Allan Pentecost, Travertine, Berlin, Springer, 2005, p 321-330.
[9] Ana J.Lopez and Others, Ultrafast Laser Texting: A Sustainable Tool to Modify Wettability Properties of Marble, Published research, Natural Stone and Architectural Heritage, MDPI Journal, Basel, Switzerland, 2019, p1-5.
[10] Arthur lyons, Materials for Architects and Builders and Introduction, Elsevier Ltd, 4th edition, 2010, p184.
[11] Gaber M.A.Wahab, Study of physical and mechanical properties for some of Eastern Desert dimension marble and granite utilized in building decoration, Ain Shams Engineering Journal,Volume 10, Issue 4, December 2019, Page 910.
[12] Gaber M.A.Wahab, Study of physical and mechanical properties for some of Eastern Desert di-

mension marble and granite utilized in building decoration, Ain Shams Engineering Journal,Volume .10, Issue 4, December 2019, Page 908-909
Marc Levoy, Guy Godin, An Assessment of Laser [13] Range Measurement on Marble Surfaces, Conference .on Optical 3D Measurement Techniques, Austria, 2001
Peter Domone, John Illston, Construc- [14] tion Materials, Their Nature and Behavior, .4th edition, Spon Press,London, 2010, p.267
Sebenth-Cdition, Rebised, Notes on [15] Building Construction Arrange to the re- .quirement, south kensigton,1910, p.13

-3-7 مواقع شبكة المعلومات الدولية:
https://www.breton.it/en/stone/goldengroove-ctv [16] .Date: 3/1/2020
https://www.breton.it/pt/pedra/plantas-de-trata- [17] .mento-com-resina-a-vacuo Date:23/12/2019
https://www.breton.it/en/stone/contourfive-nc- [18] .5-axis-stone-working-centre Date: 29/12/2019
http://www.e-lightstone.com/en Date: [19] .29/12/2019
http://www.emagroup.net/en/marble-drying-and- [20] .surface-treatments.html Date:23/12/2019
http://www.emagroup.net/en/marble-drying-and- [21] .surface-treatments.html Date:23/12/2019
https://www.etnastoneandesign.com Date: [22] .29/12/2019
http://www-graphics.stanford.edu/papers/mar- [23] .ble-assessment/ Date: 3/1/2020
http://www.kernlasers.com/technology.htm [24] .Date: 29/12/2019
https://www.sinaimarbleandstone.com Date: [25] .6/10/2019
https://stoneexpozone.com/stone/5696 D-ate: [26] 10/12/2019
https://www.stoneply.com/en/applications/clad- [27] .ding/ Date: 29/12/2019
https://www.taylormaxwell.co.uk/fa- [28] cade-systems/strata-stone-cladding-systems .Date:23/12/2019
https://waterjets.org/how-abrasive-waterjets- [29] .work/ Date:23/12/2019
.www.waterjetmiddleeast.com Date:23/12/2019 [30]
https://vimore.org/watch/T4v-hCRrCg0/maxi- [31] .ma-5-axis/ Date: 23/12/2019